Aus der Universitäts-Augenklinik Basel

Direktor: Prof. Dr. A. Brückner

Eine „Standardkurve" der Dunkeladaptation für klinische Untersuchungen

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität Basel

vorgelegt von

Geneviève Matthey

med. pract. aus Vallorbe

Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin
1932

Von der Medizinischen Fakultät Basel
genehmigt auf Antrag von Professor Dr. A. Brückner
Tag der Promotion: 7. März 1932

Imprimatur. Der Dekan: Ludwig

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus Græfes Archiv für Ophthalmologie, Band 129

Die Möglichkeit, Ergebnisse augenärztlicher Untersuchungen zahlenmäßig zu fixieren, d. h. sie in irgendwelchen Maßeinheiten zum Ausdruck zu bringen, hat im Laufe der letzten Jahrzehnte außerordentlich zugenommen und zugleich eine ergiebige Befruchtung der augenärztlichen Diagnostik zur Folge gehabt. Die Maßmethoden erstrecken sich heute auf fast alle Gebiete der ophthalmologischen Untersuchungstechnik. Zahlreiche Apparate und Methoden stehen dem Augenarzt zur Verfügung, um sowohl physiologische als auch pathologische Zustände und Funktionen zu erkennen.

Je mehr sich aber der Übergang von der Feststellung qualitativer Unterschiede zur quantitativen Ermittlung bestimmter Merkmale vollzieht, desto größer wird die Bedeutung der Technik der Beurteilung des Wertes von Beobachtungen. Alle Messungen sind mit Fehlern behaftet, die ihre Ursache sowohl in den menschlichen Sinnesorganen und den mit ihnen erhobenen Wahrnehmungen als auch in den benutzten Methoden haben. Es ist deshalb unbedingt erforderlich, daß zwischen die Beobachtung und ihre Verwertung eine Untersuchung über die Fehlergröße eingeschoben wird. Man kann sich z. B. über die Länge einer Strecke nur ein mangelhaftes Urteil bilden, wenn nicht bekannt ist, ob die verwendete Maßmethode mit einem Fehler von Zenti- oder Millimetern behaftet ist.

Aber nicht nur die Kenntnis des methodischen Fehlers ist für den ärztlichen Untersucher von wesentlicher Bedeutung, sondern auch die physiologische Streuung der zu messenden Objekte. Alle Größen zuständlicher oder funktioneller Natur können innerhalb eines gewissen Spielraumes schon physiologischerweise jeden Wert besitzen. Bei der Unterscheidung des physiologischen und pathologischen Geschehens bildet aber eine der Hauptstützpunkte des ärztlichen Urteiles die Kenntnis der physiologisch möglichen Grenzwerte.

Mit der schnellen Entwicklung der Maßmethoden in der ophthalmologischen Untersuchungstechnik hat aber die Beachtung der Fehlergröße

der Methoden und die Beurteilung der Streuung der zu messenden Objekte keineswegs Schritt gehalten. Die hierzu nötigen einfachen Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung, obwohl schon lange bekannt, sind bis jetzt in der Ophthalmologie nur von einigen wenigen Autoren in Anwendung gebracht worden. Dies gilt mehr oder weniger nicht nur für die augenärztliche, sondern auch für die gesamte biologische Forschung. *Pütter*[21] schreibt deshalb in dem kurz vor seinem Tode erschienenen Buch über „die Auswertung zahlenmäßiger Beobachtungen in der Biologie" folgende Sätze: „Wenn die Handhabung des geringen mathematischen Rüstzeuges, das zur zahlenmäßigen Verwertung biologischer Beoachtungen erforderlich ist, der älteren Generation, die es nicht von Jugend auf benutzt hat, als unbequem erscheint und daher von ihr ignoriert wird, so wird die Entwicklung dadurch zwar verlangsamt werden, aber aufzuhalten ist sie nicht. Die heranwachsende Generation wird die Fehlerrechnung handhaben lernen, sie wird dadurch manches Experiment sparen und vor mancher unberechtigter Verwertung alter wie neuer Beobachtungen bewahrt bleiben. Sie wird lernen, nicht mehr Versuche mit einer bestimmten Methode auszuführen, als die Methode wert ist, und nicht weniger, als die Fragestellung erfordert, und wird weiter lernen, aus ihren Beobachtungen alles herauszuholen, was aus ihnen zu entnehmen ist. Wir leiden heute an einem Übermaß schlecht ausgewerteter Beobachtungen."

In der Erkenntnis, daß es nur dann gelingen wird, die so hoch entwickelte ophthalmologische Untersuchungstechnik einem weiteren Höhepunkte zuzuführen, wenn die Beurteilung der Ergebnisse mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf eine solide Basis gestellt worden ist, werden schon seit einer Reihe von Jahren an der Basler Augenklinik auf den verschiedensten Arbeitsgebieten die variationsstatistischen Gesetze in systematischer Weise als Hilfsmittel der Forschung zur Anwendung gebracht.

So hat u. a. *H. K. Müller*[16] begonnen, auch die Messungen des Lichtsinnes im Verlaufe der Dunkeladaptation nach den Gesichtspunkten der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu beurteilen. Das Ziel dieser Arbeiten, auf die ich hier näher eingehen muß, da ihre Fortsetzung im folgenden geschildert werden soll, war aber nicht nur, die Fehlergröße der Methode und die physiologische Streuung der Befunde in Erfahrung zu bringen, sondern es sollte ganz allgemein ein Verfahren der Lichtsinnmessung im Verlaufe der Dunkelanpassung ausgearbeitet werden, das gestattet, besser als es bis jetzt der Fall ist, Untersuchungen der verschiedensten Autoren miteinander vergleichen zu können. Der gedankliche Austausch über Ergebnisse von Dunkeladaptionsuntersuchungen, ist durch eine Reihe von Ursachen sehr erschwert. So kann der Vergleich von Resultaten verschiedener Autoren oft nicht in befriedigender Weise durchgeführt

werden, da Unterschiede in der benützten Methodik oder die Art der Wiedergabe der Ergebnisse eine kritische Verwertung nicht zulassen.

H. K. Müller[17] hat deshalb zunächst eine systematische Untersuchung der üblichen Arten der Darstellung des Adaptationsverlaufes in Kurvenform vorgenommen, um festzustellen, welche Darstellungsweise für vergleichende klinische Arbeiten die günstigste ist. Bei einer rein mathematischen Betrachtungsweise dieser Fragestellung hat sich dabei gezeigt, daß es unbedingt erforderlich ist, die Lichtstärke der einzelnen Adaptometer zu bestimmen. Solange diese nicht bekannt ist, sind die Vergleichsmöglichkeiten von Adaptationskurven verschiedener Herkunft nur sehr gering. Ferner konnte ermittelt werden, daß Adaptationskurven für klinische Zwecke am besten durch die Logarithmen der absoluten Schwellenreizintensitäten bei arithmetischer Zeitprogression wiedergegeben werden. Es ist dies eine von *Kohlrausch*[12], *Hecht*[9], *Hertel*[10] u. a. benützte Art der Wiedergabe, die es gestattet, die relative und absolute Größe von Schwellenreizen verschiedener Adaptationskurven während des gesamten Adaptationsverlaufes zu erkennen. In einer weiteren Arbeit hat *H. K. Müller*[16] den Einfluß verschieden langer Vorbelichtung auf die Dunkeladaptation und auf die Fehlergröße der Schwellenreizbestimmung während der Dunkelanpassung bestimmt, um die optimalen Untersuchungsbedingungen für klinische Zwecke festzustellen. Dabei hat sich ergeben, daß bei maximaler Homatropin-Cocain-Mydriasis und einer Stärke der Vorbelichtung von 3000 Lux ⊥ Barytweiß mit dem *Stargardt*schen „Ausbleicher“[24] die Dauer der Helladaptation von 5 Minuten schon genügt, um sicher zu sein, daß am Anfang der Dunkelanpassung vornehmlich der Tagesapparat die Schwellenreize übermittelt. Da auch die Fehlergröße mit der Zunahme der Vorbelichtung abnimmt, ist es nach diesen Untersuchungen das beste, die Dauer der Helladaptation auf 10 Minuten festzusetzen.

Durch diese Arbeiten, bei denen *H. K. Müller* allein als Versuchsperson gedient hat, waren die Arbeitsbedingungen geschaffen, um an einer größeren Zahl von normalen Personen die Dunkeladaptation zu messen und die Größe der physiologischen Streuung zu bestimmen. Diese entzieht sich bis jetzt noch fast vollkommen unserer Kenntnis, und wir können nur schätzungsweise Angaben über die vermutliche Streuung zu Beginn und am Ende der Dunkelanpassung machen.

Durch die Untersuchungen von *Kohlrausch*[12] und *Dieter*[6] über die Adaptationsvorgänge in Beziehung zur Duplizitätstheorie und im Hinblick auf die modernen physikalisch-chemischen Theorien der Dunkelanpassung von *Hecht* und *Lasareff* erscheint es aber wichtig, auch klinisch stets den gesamten Verlauf der Adaptationskurve beurteilen zu können; es muß deshalb auch die Streuung der Schwellenreizbestimmungen während des Gesamtverlaufes bestimmt werden.

Die Kenntnis der physiologisch möglichen Streuungswerte bei der Lichtsinnmessung während der Dunkelanpassung ist vornehmlich deshalb erforderlich, weil diese Daten die Grenzwerte bilden, mit deren Hilfe pathologisches und physiologisches Geschehen unterschieden werden kann. Alle Adaptationskurven, die außerhalb der physiologisch möglichen Streuungsgrenze gefunden werden, können mit relativ großer Sicherheit als pathologisch angesprochen werden. Die innerhalb des Streuungsbereichs befindlichen Kurven sind aber mit großer Zurückhaltung zu beurteilen.

Betrachtet man die Angaben verschiedener Autoren über die von ihnen als Grenze zwischen physiologischer und pathologisch veränderter Dunkelanpassung angenommenen Werte, so ist zu sehen, daß diese sich hauptsächlich auf die Endwerte der Dunkeladaptation beziehen. *Nagel*[18] hält die zwischen 50000 und 150000 reduzierten Empfindlichkeitseinheiten* liegenden Endwerte als ungefähr der physiologischen Streuung entsprechend, wobei die Dauer der Dunkeladaptation auf 60 Minuten und die Helladaptation bei Tageslicht festgesetzt ist. Da sein Apparat auf absolute Lichtstärken geeicht war, handelt es sich also um Schwellenintensitäten von 0,02 und 0,007 Millilux. *Mesmer*[15], der ebenfalls mit dem *Nagel*schen Adaptometer arbeitete, gibt Empfindlichkeitswerte für den Anfang von 3332 bis 10415 reduzierten Einheiten und Endwerte von 29000 bis 208000 reduzierte Einheiten an. Diese Werte sollen unter der Bedingung einer viertelstündigen Helladaptation im hellen Raume oder im Freien und bei einer Dauer der Dunkelanpassung von etwa 60 Minuten Gültigkeit haben.

Behr[1] und *Igersheimer*[11], die keine konstante Helladaptation benützten, vertreten die Meinung, daß bei Verwendung des *Piper*schen Apparates nach 45 Minuten langem Dunkelaufenthalt ein Empfindlichkeitswert von 1500 Piperschen Einheiten** erreicht sein muß, um eine Herabsetzung der Dunkeladaptation gegenüber der Norm sicher diagnostizieren zu können. *E. Schindler*[23] setzt diesen Grenzwert auf 1300 Pipersche Einheiten fest. *Gasteiger*[8] nimmt für das Nagelsche Adaptometer an, daß alle Werte unter 26000 reduzierten Nagelschen Einheiten nach 45 Minuten langem Dunkelaufenthalt als pathologisch angesehen werden müssen. Alle diese Werte können nicht miteinander verglichen werden, da ihre zugehörigen absoluten Lichtstärken (außer bei den Nagelschen Versuchen) nicht bekannt sind. Auch führt der Versuch, den *Gasteiger* unternommen hat, Nagelsche und Pipersche Ein-

* Die reduzierte Einheit der Empfindlichkeit entspricht nach *Nagel* einer Stärke des Schwellenreizes von 1 Lux, der bei Blendenöffnung 6500 qmm und herausgezogener Milchglasscheibe seines Apparates erreicht sein soll.

** Bei einem Schwellenwert des Reizlichtes von 10000 ist nach den Angaben *Pipers* bei seinem Apparat der Empfindlichkeitswert 1 gegeben. Die absolute Lichtstärke des Schwellenwertes 10000 ist unbekannt.

heiten zueinander in Beziehung zu setzen, zu keinem genauen Ergebnis. Die Vergleichsmöglichkeiten werden nicht nur durch die unbekannte Lichtstärke der Adaptometer, sondern auch durch die verschiedenen Versuchsbedingungen sehr stark eingeschränkt; so finden die Pupillenweite und die Dauer und Art der Helladaptation fast nie die nötige Berücksichtigung. *Behr*[1] hat deshalb vorgeschlagen, wenn irgend möglich, mit dem gesunden Auge des gleichen Patienten eine Vergleichskurve aufzunehmen. *Wessely*[26] registriert bei jeder klinischen Untersuchung den Adaptationsverlauf eines Normalen. Aber auch dieses Verfahren kann zu keiner voll befriedigenden Lösung führen, solange die Streuungsbreite der physiologischen Dunkelanpassung nicht bekannt ist. Denn auch bei diesem Vorgehen müssen 2 Adaptationskurven miteinander verglichen werden, von denen wir nicht wissen, wie weit sie physiologischerweise schon auseinanderliegen können.

Eigene Untersuchungen.

Ich habe es auf Anregung von Herrn Dr. *H. K. Müller* unternommen, bei einer größeren Zahl von gesunden Personen unter stets gleichbleibenden und leicht zu wiederholenden Bedingungen den Adaptationsverlauf zu bestimmen und mit Hilfe der nötigen variationsstatistischen Berechnung die physiologische Streuung zu ermitteln.

Da die dabei gewonnenen Ergebnisse für zukünftige Untersuchungen als Grundlage dienen sollen, habe ich meine Methodik so angeordnet, daß sie allen klinischen Forderungen gerecht wird, insbesondere habe ich die von *H. K. Müller*[16] gemachten Erfahrungen über die Dauer der Helladaptation und über die Darstellung der Adaptationskurven verwertet.

Zur Untersuchung wurden nur Personen herangezogen, deren Lichtsinn mindestens auf einem Auge aller Voraussicht nach normal war und bei denen die brechenden Medien der Augen keine Trübungen aufwiesen. Da die Schwellenreizbestimmungen *monokular* ausgeführt wurden, gelangten auch Personen mit nur einem gesunden Auge zur Verwendung, wobei jedoch darauf geachtet wurde, daß das nicht geprüfte Auge noch mindestens teilweise funktionsfähig war und keinerlei Reizerscheinungen hatte.

Die skiaskopisch bei Akkommodationslähmung gemessene Refraktion der untersuchten Personen lag im Bereich von + 4,0 dptr. bis — 2,25 dptr.

Da der Zweck meiner Untersuchung auch darin bestand, evtl. vorhandene Typenunterschiede des Adaptationsverlaufes in Abhängigkeit vom Lebensalter und von der Pigmentation der Augengewebe festzustellen, wurden Personen mit den verschiedensten Haarfarben und in möglichst verschiedenen Lebensaltern untersucht. Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 11 und 59 Jahren. Ferner wurden absichtlich

Leute aus allen möglichen Berufsarten ausgewählt, bei denen die Intelligenz sehr verschieden war. Dadurch war die Gewähr gegeben, daß die Zusammensetzung des Untersuchungsmaterials möglichst viele Varianten enthielt, die auf die gesuchte Streuung* von Einfluß sein konnten.

Vor jedem Versuch wurden stets die beiden Pupillen mit Homatropin und Cocain (beides in 2proz. Lösung) durch 3maliges Einträufeln in Intervallen von je 5 Minuten erweitert. Danach mußte sich die Versuchsperson $^1/_2$ Stunde lang in einem völlig von Licht abgeschlossenen Raum aufhalten. Dies wurde für notwendig gehalten, um eventuelle Beeinflussung der Augen durch vorausgegangene Belichtungen auszuschließen. $^1/_2$ Stunde ist dabei, wie aus den Versuchen von *H. K. Müller*[16] ersichtlich, genügend, denn trotz verschieden langer Vorbelichtung fand er nach einer $^1/_2$stündigen Dunkelanpassung nur noch geringe Unterschiede der Schwellenwerte.

Nach Ablauf der genannten $^1/_2$ Stunde wurde die Vorbelichtung der Augen stets binokular mit dem *Stargardt*schen „Ausbleicher" 10 Minuten lang vorgenommen. Im Zentrum hatte die weiße Halbkugel des „Ausbleichers" eine Lichtstärke von 3000 Lux $\perp$ Barytweiß. Die Versuchsperson war angewiesen, den Blick in der Halbkugel während der Vorbelichtung kreisen zu lassen, um so eine ausgiebige und für alle Teile möglichst gleichmäßige Belichtung der Netzhaut zu gewährleisten. Die Dauer der Vorbelichtung wurde auf 10 Minuten festgesetzt, da dabei aus den von *H. K. Müller*[16] gemachten Erfahrungen damit zu rechnen war, daß noch der Tagesapparat am Anfang der Lichtsinnprüfung vornehmlich die Übermittelung der Schwellenreize ausführte. Ferner hat sich bei den Untersuchungen von *H. K. Müller* auch gezeigt, daß nach 5 und 10 Minuten dauernder Helladaptation nur verhältnismäßig geringe Unterschiede im Adaptationsverlauf nachweisbar sind, so daß Differenzen in der Vorbelichtung durch zeitweise mangelhaftes Öffnen der Lider wegen Blendungsgefühl, wie ich es bei der gewählten Lichtstärke öfters festgestellt habe, von voraussichtlich mäßigem Einfluß auf die Streuung der Ergebnisse sein werden.

1 Minute nach Schluß der Vorbelichtung wurde mit den Schwellenreizbestimmungen begonnen, nachdem das eine Auge durch einen nicht drückenden, aber lichtdichten Verband geschlossen war. Dann wurde bis zur 46. Minute alle 3 Minuten eine Bestimmung ausgeführt. Die zeitlichen Abstände wurden möglichst genau eingehalten. Immer war das natürlich nicht möglich, da dies auch vom Verhalten des Patienten abhing. Es wurden deshalb nur jene Bestimmungen zur Berechnung der Streuung herangezogen, deren zeitliche Lage von den angegebenen Werten sich nicht um mehr als 15 Sekunden unterschied.

Der Patient hatte während der Untersuchung sein Kinn auf eine Stütze zu setzen, so daß der Abstand vom Nagelschen Adaptometer genau 60 cm betrug.

Über der kreisförmigen Adaptometerscheibe von 10 cm Durchmesser befand sich ein kleiner roter schwach leuchtender Fixierpunkt (*Nagel*) in einem Abstand von 10 cm vom Mittelpunkt der Adaptationsscheibe, auf den die Versuchspersonen den Blick richten mußten, wozu sie im Laufe des Versuchs wiederholt aufgefordert wurden. Es wurde also stets eine Stelle der Netzhaut 10° unterhalb der Fovea in einer Feldgröße von 10° zur Schwellenbestimmung belichtet. Bei der Schwellenbestimmung wurden nur „Verschwindungsreize" angewendet. Der Patient

* In dieser Streuung sind natürlich auch die durch Schwankungen der Stromstärke des elektrischen Stadtnetzes erzeugten Abweichungen der jeweilig bestimmten Schwellenreizgröße enthalten, sowie sämtliche der Methode anhaftenden Fehler.

mußte also angeben, in welchem Zeitmoment er das Licht des Adaptometers nicht mehr sah. Das verwendete Nagelsche Adaptometer hatte bei herausgezogenen Verdunkelungsscheiben und voller Blendenöffnung eine Lichtstärke von 0,335 Lux ⊥ Barytweiß. Die Eichung war von Herrn Dr. *Müller* mit einem Weberschen Photometer ausgeführt worden.

Mit Hilfe dieser Methodik wurden an 54 Personen Adaptationsversuche ausgeführt. Die Methodik mag manchem etwas umständlich und zeitraubend erscheinen, doch wird im folgenden gezeigt werden, daß trotz deren genauer Einhaltung die Fehlerbreite recht beträchtlich ist und bei weniger genauer Methodik natürlich noch viel größer sein müßte. Für die Prüfung des Lichtsinnes gilt eben das Gleiche wie für die des Farbensinnes, daß nur die beste Methodik gestattet, einigermaßen sichere Schlüsse zu ziehen.

Ergebnisse.

Aus den in den genannten zeitlichen Abständen gefundenen Schwellenreizen wurden die Mittelwerte berechnet und die mittleren Fehler der einzelnen Beobachtungen sowie der Mittelwerte bestimmt. In Tab. 1 sind die Resultate eingetragen.

Tabelle 1. *Mittelwerte und Fehlermaße der Schwellenreizintensitäten im Verlaufe der Dunkelanpassung von 54 Personen mit normalen Augen.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Zeit in Minuten	M	$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\Sigma\,\alpha^2}{n}}$	$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$M + \sigma$	$M + 3\,\sigma$	Mittlerer Fehler der Einzelbeobachtung in % des Mittelwertes	Mittlerer Fehler des Mittelwertes in % des Mittelwertes	Logarithmen der Zahlen von Stab 2	Logarithmen der Zahlen von Stab 5	Logarithmen der Zahlen von Stab 6
	Mittelwert in Millilux, 1 Millilux = 0,001 Lux	Mittlerer Fehler der Einzelbeobachtung	Mittlerer Fehler des Mittelwertes	Mittelwert + mittlerer Fehler der Einzelbeobachtung	Mittelwert + 3 fach. mittlerer Fehler d. Einzelbeobachtung			+ 3,0	+ 3,0	+ 3,0
1	15,3	14,4	2,27	29,7	58,46	93,9	14,8	4,18	4,47	4,77
4	3,18	4,27	0,64	7,45	15,99	134,3	20,0	3,50	3,87	4,20
7	1,07	1,15	0,17	2,22	4,51	108,0	16,1	3,03	3,35	3,65
10	0,268	0,354	0,052	0,62	1,33	131,1	19,4	2,43	2,79	3,12
13	0,057	0,088	0,011	0,144	0,32	153,7	19,7	1,76	2,16	2,51
16	0,015	0,013	0,0018	0,028	0,053	82,7	11,7	1,18	2,44	1,72
19	0,0075	0,0058	0,00083	0,013	0,025	77,9	11,1	0,88	1,13	1,40
22	0,0050	0,0033	0,00046	0,0083	0,015	66,2	9,3	0,70	0,92	1,17
25	0,0045	0,0039	0,00054	0,0084	0,016	86,4	12,1	0,65	0,92	1,21
28	0,0033	0,0017	0,00026	0,0048	0,0082	35,2	7,8	0,51	0,68	0,92
31	0,0028	0,0019	0,00026	0,0047	0,0084	66,6	9,4	0,45	0,67	0,92
34	0,0022	0,0015	0,00022	0,0037	0,0068	69,1	9,8	0,34	0,57	0,83
37	0,0023	0,0013	0,00018	0,0036	0,0061	55,2	7,7	0,36	0,55	0,79
40	0,0022	0,0014	0,00019	0,0035	0,0062	61,9	8,7	0,33	0,55	0,79
43	0,0022	0,0013	0,00019	0,0035	0,0061	59,1	8,4	0,34	0,54	0,79
46	0,0021	0,0013	0,0002	0,0034	0,0061	62,9	14,0	0,32	0,53	0,78

Der mittlere Fehler σ der Einzelbeobachtung wurde nach der Formel $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \alpha^2}{n}}$ berechnet, worin α die Abweichung der einzelnen Beobachtungen vom zugehörigen Mittelwert und n die Gesamtzahl der Versuche, aus denen der Mittelwert berechnet wurde, bedeutet. Für die Ermittelung des mittleren Fehlers m der Mittelwerte diente die Formel $m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, worin σ und n die genannten Bedeutungen haben.

Die Anwendung dieser Formeln und vor allem die Berechtigung, Schlußfolgerungen aus den damit gewonnenen Resultaten zu ziehen, ist aber nur erlaubt, wenn es wahrscheinlich ist, daß die Zahlenwerte der Beobachtungen sich in binominaler Weise um den Mittelwert gruppieren. Eine binominale Verteilung der beobachteten Werte wird immer dann zu erwarten sein, wenn die Unterschiede in den Befunden rein zufällige sind und keine systematische Beeinflussung der Beobachtungen in einer bestimmten Richtung vorliegt.

Bei den hier variationsstatistisch zu beurteilenden Versuchsergebnissen kann man wahrscheinlich eine binominale Streuung der Befunde annehmen. Sowohl die Mängel der Methodik, als auch die psychische Beeinflussung der Beobachtungen werden sich in rein zufälliger Weise auf die Höhe der festzustellenden Schwellenwerte nach oben und unten auswirken.

Von Bedeutung wird aber sein, in welchem Maßstab die Schwellenwerte ausgedrückt werden. Die Wahl des Maßstabes wird durch die mathematische Abhängigkeit zwischen der Intensität des Reizlichtes und dem Zustandekommen der Schwellenerregung bestimmt. Leider ist diese Abhängigkeit zahlenmäßig noch unbekannt. Bei der Schwellenbestimmung zur Prüfung der Adaptation vermag man ja nur die Reizschwelle für den gesamten Sehprozeß festzustellen, wobei keine Aussage darüber gemacht werden kann, wie sich die Abhängigkeit der einzelnen dabei beteiligten Apparate (periphere und zentrale Prozesse) untereinander zahlenmäßig verhält.

Um aber in dieser Beziehung doch einen Anhaltspunkt zu gewinnen, kann man sich auf den allerdings mehr oder weniger willkürlichen Standpunkt stellen, daß bei den unter den genannten Bedingungen vorgenommenen Adaptationsprüfungen die jeweils vorhandene Konzentration der photosensitiven Substanz der Netzhaut die Schwellenreizgröße bestimmt. Nun wird voraussichtlich einerseits diese Konzentration in zufälliger Weise variieren und auch die individuellen Unterschiede in der Abhängigkeit der Schwellenreizintensität von dieser Konzentration werden sich wohl annähernd in binominaler Weise verteilen.

Demnach könnte man also die Abhängigkeit der Schwellenreizintensität von der jeweils vorhandenen Konzentration an photosensitiven Substanzen in der Netzhaut zur Grundlage der Bestimmung des Maßstabes, in dem die Beobachtungsresultate ausgedrückt werden sollen, heranziehen.

Um diese Beziehung zahlenmäßig festzulegen, stehen zunächst zwei Wege zur Verfügung. Der eine folgt dabei der Adaptationstheorie von *Lasareff* und der andere der von *Hecht*. Nach *Lasareff* haben wir anzunehmen, daß unter den Bedingungen der Schwellenerregung der peripheren Netzhautapparate der absolute Wert der Schwellenreizintensität der jeweils vorhandenen Konzentration der photosensitiven Substanz umgekehrt proportional ist. Dieser Ansicht folgend müßte man also für die hier nötigen variationsstatistischen Berechnungen die beobachteten Werte der Schwellenreizintensität in ihrer absoluten Größe benützen.

Hecht vertritt aber nun andererseits den Standpunkt, daß die jeweils vorhandene Konzentration der photosensitiven Substanz bei der Schwellenerregung dem Logarithmus der Reizintensität umgekehrt proportional sei. Demnach müßte

also jeweils der Logarithmus der Intensität für die Berechnung der Streuung benutzt werden.

Leider ist es aber nicht möglich, diese Frage in eindeutiger Weise zu entscheiden. Ich habe mich daher aus Gründen der Einfachheit und Übersichtlichkeit entschlossen, die absoluten Werte der Schwellenreizintensitäten meinen Berechnungen zugrunde zu legen, möchte aber betonen, daß damit keine Bewertung der beiden Theorien statthaben soll.

Die Standardkurve. Betrachtet man in Tab. 1 die Mittelwerte der Reizschwellenintensitäten (Stab 1), so ist zu ersehen, daß bei der verwendeten Methodik in der ersten Minute nach Schluß der Helladaptation durchschnittlich der Schwellenreiz eine Lichtstärke von 15,3 Millilux gehabt hat und im Laufe von 45 Minuten auf 0,002 Millilux gesunken ist.

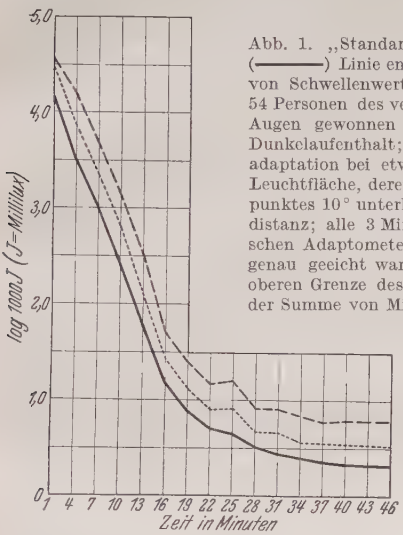

Abb. 1. „Standardkurve“ der Dunkeladaptation. Die ausgezogene (————) Linie entspricht den Logarithmen (Basis 10) der Mittelwerte von Schwellenwertsbestimmungen (Verschwindungsschwelle), die bei 54 Personen des verschiedensten Alters (11 bis 59 Jahre) mit normalen Augen gewonnen worden sind. Versuchsbedingungen: $^1/_2$ Stunde Dunkelaufenthalt; Homatropin-Cocain-Mydriasis, 10 Minuten Helladaptation bei etwa 3000 Lux ⊥ Barytweiß; 10° große kreisförmige Leuchtfläche, deren Projektion bei Verwendung des Nagelschen Fixierpunktes 10° unterhalb der Macula zu liegen kam; 60 cm Beobachtungsdistanz; alle 3 Minuten eine monokulare Bestimmung mit dem Nagelschen Adaptometer, das mit dem Weberschen Photometer möglichst genau geeicht war. — Die gestrichelte (— — —) Linie entspricht der oberen Grenze des Streuungsbereiches; sie ist durch die Logarithmen der Summe von Mittelwert und 3fachem Betrag des mittleren Fehlers der Einzelbeobachtung gebildet. Alle über dieser Grenzlinie gefundenen Schwellenwerte können mit ziemlich großer Sicherheit als pathologisch angesprochen werden. — Die punktierte (·····) Linie ist durch die Logarithmen der Summe von Mittelwert und einfachem Betrag des mittleren Fehlers der Einzelbeobachtung zustande gekommen. Sie umgrenzt das Bereich, in dem eine große Zahl aller physiologisch normalen Schwellenwerte liegen werden, nach oben.

Dies entspricht etwa einer Abnahme der Reizlichtstärke um das 7650fache Der Anfangswert ist doppelt so hoch wie ihn *H. K. Müller*[16] für seine Person gefunden hat. Dieser Unterschied ist wohl u. a. darin begründet, daß *H. K. Müller* binokular beobachtete, während bei meinen Versuchen nur der Schwellenreiz für ein Auge bestimmt wurde. Die Abnahme der Schwellenreize um das fast 8000fache zeigt, daß die verwendete Methodik es gestattet, eine für klinische Zwecke genügend große Adaptationsbreite zu erfassen.

In Abb. 1 ist die den Logarithmen der Mittelwerte entsprechende Adaptationskurve (ausgezogen) eingezeichnet. Sie ist eine einfache, fast glatt abfallende Kurve, die nach etwa 35 Minuten beinahe horizontal verläuft. Ein Kurvenknick im Sinne von *Kohlrausch*[12] oder eine Umschlagstelle nach *H. K. Müller*[17, 16], die beim Übergang vom Tages- zum Dämmerungsapparat gefunden werden kann, kommt durch diese

Mittelwertkurve nicht zum Ausdruck, da die zeitlichen Abstände zwischen den einzelnen Schwellenreizbestimmungen zu groß gewählt waren, um solche Feinheiten des Kurvenverlaufes zu bestimmen. Es ist aber sicher, daß mindestens bei der ersten Bestimmung des Schwellenreizes noch die Funktion des Tagesapparates eine wichtige Rolle spielte, da bei der gewählten Methodik und binokularen Beobachtung die „Umschlagstelle" von *H. K. Müller* zwischen 1 und 5 Millilux bestimmt wurde.

Da die in Abb. 1 wiedergegebene Kurve für zukünftige Untersuchungen als Grundlage dienen soll, ist die Tatsache, daß ihr Anfangswert auf die Funktion des Tagesapparates zurückgeführt werden kann, wichtig, weil *das Ziel der klinischen Untersuchung in Zukunft in einer besonderen Berücksichtigung der Funktionen des Tages- und Dämmerungsapparates bestehen wird.* Der mittlere Fehler der dieser Kurve zugrunde liegenden Mittelwerte beträgt im Durchschnitt 15%. Durch diesen relativ kleinen Fehler wird auch der verhältnismäßig glatte Verlauf der Gesamtkurve erklärt.

Die am einzelnen Patienten gefundenen Kurven hatten fast niemals diesen glatten Verlauf, sondern es wurden stets mehr oder weniger große Zacken im logarithmischen Schwellenwertabfall festgestellt. Unter meinen 54 Adaptationskurven befindet sich auch nicht eine, die einen so stetigen Verlauf hat, wie z. B. die von *Dieter*[6] gefundenen Kurven. Auch bei Durchsicht von zahlreichen Adaptationskurven, die von Herrn Professor *Brückner* als Versuchsperson für andere Zwecke gewonnen worden waren, ließen sich nur ganz vereinzelt Kurven finden, die einen ununterbrochenen glatten Abfall aufwiesen. Man darf es wohl als Gesetzmäßigkeit ansprechen, daß bei der Aufnahme einer einzelnen Adaptationskurve an den verschiedensten Stellen der Kurven Unregelmäßigkeiten im Schwellenreizabfall auftreten, die ihre Ursache in mancherlei Fehlermöglichkeiten haben.

In Abb. 1 sind noch zwei weitere Kurven eingetragen, von denen die eine gestrichelt und die andere punktiert ist. Die punktierte Linie ist durch die um die mittleren Fehler der einzelnen Beobachtungen vergrößerten Mittelwerte (Stab 10, Tab. 1) gebildet und die gestrichelte (Stab 11, Tab. 1) stellt den um den 3fachen Betrag der mittleren Fehler der einzelnen Beobachtung vergrößerten Mittelwert dar.

Die Bedeutung dieser Kurven besteht darin, daß die punktierte Linie die obere Grenze für die Mehrheit aller unter den genannten Bedingungen an normalen Personen gewonnenen Adaptationskurven bildet, während die gestrichelte Linie fast alle physiologischerweise überhaupt möglichen Werte umfaßt. Die gestrichelte Linie besteht also aus den Grenzwerten, die mit relativ großer Wahrscheinlichkeit den pathologischen und physiologischen Adaptationsverlauf trennen. Alle Adaptationskurven, die oberhalb der gestrichelten Linie liegen und unter den genannten Bedingungen aufgenommen werden, entsprechen wahrscheinlich einem pathologisch veränderten Adaptationsverlauf. Mit Hilfe dieser „Standardkurve" besteht also jetzt die Möglichkeit, klinische Adaptationskurven voll auszuwerten.

Wir sind nun in der Lage, nicht nur die Anfangs- und Endwerte der Dunkelanpassung zu diagnostischen Zwecken zu verwerten, sondern können über jeden einzelnen Punkt der Kurve uns ein Urteil bilden, ob er in das Bereich des physiologisch Möglichen oder in das des Pathologischen zu rechnen ist. Es ist dies ein großer Fortschritt im Vergleich zu der großen Unsicherheit, die bis jetzt bei der Beurteilung der Resultate klinischer Adaptationsprüfungen geherrscht hat.

Betrachtet man die den einzelnen Kurven entsprechenden Zahlenwerte der Tab. 1, so sind darin die absoluten Zahlenwerte in Millilux (Stab. 2) zu entnehmen, die den Logarithmen der Kurven entsprechen. Während die Mittelwertskurve von 15,3 Millilux in 45 Minuten auf 0,002 Millilux absinkt, betragen diese Werte für die obere physiologisch noch mögliche Grenze (Stab 6) 58,5 und 0,006 Millilux. Nach der Nagelschen Definition der reduzierten Empfindlichkeitseinheit hat demnach der höchste physiologisch noch mögliche Endwert eine Größe von 160000 reduzierten Einheiten und der physiologische normale Mittelwert eine Größe von 500000 reduzierten Einheiten. Diese Werte sind etwa 3mal so groß, als *Nagel* sie angegeben hat. Die Unterschiede sind wohl auf die bei meiner Methodik verwendete künstlich erweiterte Pupille zurückzuführen.

Während Adaptationskurven, die oberhalb der gestrichelten Linie (Mittelwerte $+ 3\,\sigma$) liegen, mit relativ großer Sicherheit als in das Bereich des Pathologischen gehörig angesprochen werden können, ist es unmöglich, sichere Angaben über die zwischen der Mittelwertskurven und der oberen Streuungsgrenze befindlichen Kurven zu machen. Sie können ebensowohl der Ausdruck einer physiologischen als auch einer krankhaft veränderten Dunkelanpassung sein. Hier müssen noch weitere Prüfmethoden gefunden werden, um eine Verfeinerung der Diagnose zu ermöglichen. Allerdings besteht für die Adaptationskurven, die zwischen der gestrichelten und der punktierten Linie, also zwischen ($M + \sigma$ und $M + 3\,\sigma$) liegen, ein gewisser Verdacht auf pathologische Veränderung, da ihre Lage von der Norm schon ziemlich weit entfernt ist.

Auf die untere Streuungsgrenze soll hier nicht näher eingegangen werden, da sie bei dem hohen Wert des mittleren Fehlers der Einzelbeobachtung in ein Bereich der Lichtstärken für die Schwellenreize fällt, das faktisch unmöglich ist.

Die Fehlergröße.. Bemerkenswert sind weiterhin meine Befunde über die Fehlergröße der Schwellenreizbestimmungen im Verlauf der Dunkelanpassung. In Tab. 1 sind die mittleren Fehler der Einzelbeobachtung (Standardabweichung $= \sigma$) in Prozenten des zugehörigen Mittelwertes (Stab 7) ausgedrückt. Demnach muß bei der klinischen Adaptationsprüfung unter den genannten Versuchsbedingungen im Durchschnitt mit einem mittleren Fehler der Einzelbeobachtung von

$\pm$ 84% des Mittelwertes gerechnet werden. Die Werte schwanken zwischen 35 und 154%, sie sind fast 3mal so groß, als die von *H. K. Müller* bei den an seiner Person angestellten Versuchen. Er konnte im Durchschnitt einen mittleren Fehler der Einzelbeobachtung von etwa 33% finden. Es ist ohne weiteres verständlich, daß bei meinen Versuchen an zahlreichen ungeübten Personen dieses Fehlermaß erheblich größer ausfallen mußte.

Betrachtet man die gesamte mögliche Streuungsbreite ($M \pm 3\,\sigma$), so hat sie durchschnittlich eine Größe von etwa $\pm$ 250%. *Demnach können also erst Schwellenwerte, die 2,5 mal größer sind als die normalen Mittelwerte als sicher pathologisch angesprochen werden.*

Abgesehen von der absoluten Höhe, zeigt aber das Verhalten der Fehlerstreuung im Verlaufe der Dunkeladaptation genau dieselben Charakteristica, wie sie *H. K. Müller* gefunden hat. Am Anfang der Dunkelanpassung ist der mittlere Fehler der Einzelbeobachtung im Verhältnis zum zugehörigen Mittelwert relativ klein (s. Tab. 1, Stab 5 und Abb. 2), nimmt dann bis zu einem Maximum zu, um von diesem abzufallen und von der 15.—20. Minute ab annähernd den gleichen Wert beizubehalten. *H. K. Müller* hat schon darauf hingewiesen, daß dieses Fehlermaximum nicht mit der Umschlagsstelle vom Tages- und Dämmerungsapparat zeitlich zusammenfällt, sondern bei seinen Kurven in Beziehung zur Steilheit der Adaptationskurve steht. Der Korrelationskoeffizient zwischen Steilheit der Kurve und prozentualer Fehlergröße hatte bei ihm in einer Versuchsreihe den Wert von + 0,6, was darauf hindeutet, daß gewisse gleichsinnige Beziehungen zwischen Steilheit des Schwellenwertabfalles und Fehlergröße anzunehmen sind. Es wurde vermutet, daß gerade an den steilsten Stellen der Adaptationskurve schon kleine zeitliche Verschiedenheiten bei den Schwellenreizbestimmungen von Einfluß auf die Fehlergröße sind.

Nun zeigt aber meine Mittelwertskurve im Abfall von der 1. bis 16. Minute einen fast gradlinigen Verlauf, mit nur minimalen Unterschieden der Steilheit, trotzdem steigt die Fehlergröße von etwa 90 auf 150%. Da ich auch noch alle Schwellenwertbestimmungen, die um mehr als 15 Sekunden zu früh oder zu spät gemacht wurden, von meinen Berechnungen ausgeschlossen habe, glaube ich, in dem Verhalten der Fehlerkurve doch auch einen Hinweis auf ein charakteristisches physiologisches Geschehen erkennen zu müssen. Durch den geradlinigen Abfall der Logarithmen der Schwellenwerte, den ich im Mittel gefunden habe, werden die in der Art der Methodik begründeten Umstände, die für den Verlauf der Fehlergrenze als Ursache herangezogen werden können, mehr oder weniger ausgeschaltet; man kann somit die *Fehlerkurve* auch *als Streuungskurve der Schwellenreizwahrnehmungen* betrachten.

Da die Schwellenreizbestimmungen eigentlich Unterschiedsempfindlichkeitsprüfungen zwischen dem Eigenlicht und dem Prüflicht sind, stellt die prozentuale Streuungsgröße ein gewisses Maß der Unterschiedsempfindlichkeit in dieser Hinsicht dar. Man kann nämlich annehmen, daß die Sicherheit mit der die Schwellenreize erkannt werden, von wesentlichem Einfluß auf das genannte Streuungsmaß ist. Demnach würde am Anfang der Adaptation der Schwellenreiz eine relativ sichere Empfindung auslösen, die im Verlauf einiger Minuten an Sicherheit verliert, um dann bei den gegebenen Versuchsbedingungen etwa von der 15. Minute ab wieder schnell zu steigen und bis zum Schluß der Adaptation auf gleicher Größe zu bleiben.

Im Prinzip stimmt dies gut mit den Ergebnissen von *Fröhlich*[7, 13] und seiner Schule über die Untersuchungen des kritischen Stadiums überein. Es besteht nur der Unterschied, daß die Lage des Fehlermaximums bei meinen Versuchen nicht mit der Umschlagsstelle von Tages- und Dämmerungsapparat in Beziehung gebracht werden kann. Aber meine prozentuale Fehlerkurve (Abb. 2) zeigt ebenso wie einzelne von *H. K. Müller*[16] einen zweigipfeligen Charakter, der vielleicht darauf hindeutet, daß der erste Kurvengipfel durch das kritische Stadium und der zweite durch die Steilheit des logarithmisch dargestellten Adaptationsverlaufes hervorgerufen ist. Diese doppelte Beeinflussung des Verlaufes der Fehlerkurve erschwert die Deutung der Sachlage außerordentlich, doch glaube ich, daß ebenso wie *Fröhlich*, für sog. „minimale“ Reize, die ja bei seiner Methodik etwa 2—3mal so groß als tatsächliche Schwellenreize sind, *auch für diese ein kritisches Stadium angenommen werden kann.* Freilich muß betont werden, daß der Verlauf der Fehlerkurve nicht als Beweis für das Vorhandensein eines kritischen Stadiums bei der Schwellenreizbestimmung im Verlaufe der Dunkelanpassung, sondern nur als Hinweis auf die Möglichkeit angesehen werden darf.

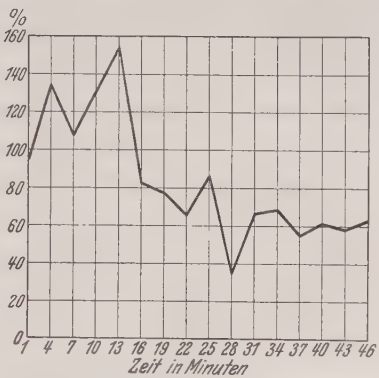

Abb. 2. Kurve der mittleren Fehler der Einzelbeobachtung in Prozenten der zugehörigen Mittelwerte.

Typenunterschiede. Das an 54 Personen gewonnene Untersuchungsmaterial habe ich auch auf Typenunterschiede des Adaptationsverlaufes in Abhängigkeit vom Lebensalter und von der Pigmentation des Augenhintergrundes geprüft.

Nach den Behauptungen von *Tschermak*[25] und *Piper*[20], daß es 2 Typen des normalen Adaptationsverlaufes gebe, haben sich mehrere Autoren mit dieser Frage beschäftigt. *Tschermak*[25] bringt die 2 Typen der schnellen, ausgiebigen

und der langsamen, weniger hohen Empfindlichkeitssteigerung mit dem Farbensinn in Zusammenhang. *Piper*[20] stellt die 2 Typenunterschiede fest, erklärt sie aber vom Farbensinn unabhängig und läßt die Erklärung offen.

Wölfflin[27] vermutet 2 Typen je nach dem Pigmentgehalt des Augenhintergrundes. Für dunkel pigmentierte nimmt er höhere Empfindlichkeitswerte an als für schwach pigmentierte Individuen. Aber er bemerkt, daß seine Versuche zu wenig zahlreich sind, um einen sicheren Schluß zu ziehen. *Lohmann*[14] vertritt die Ansicht, daß eventuell vorkommende Typendifferenzen auf rein physikalische Momente zurückzuführen seien, wie Ungleichheit der Pupille und verschiedene Lichtdurchlässigkeit der Iris. *Tschermak*[25], *Piper*[20] und *Lasareff*[22] weisen auch auf vom Alter abhängige Variationen des Adaptationsverlaufes hin, wohingegen *Wölfflin*[27] keinen ausgesprochenen Unterschied in dieser Beziehung finden kann.

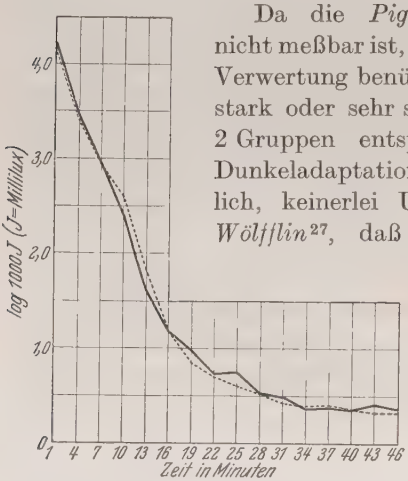

Abb. 3. Die ausgezogene Kurve entspricht den Mittelwerten der Reizschwellenintensitäten bei Personen mit relativ schwacher und die punktierte Kurve mit relativ starker Funduspigmentation.

Da die *Pigmentation* des Augenhintergrundes nicht meßbar ist, habe ich nur die Fälle zur kritischen Verwertung benützt, bei denen der Fundus auffallend stark oder sehr schwach pigmentiert war. Die diesen 2 Gruppen entsprechenden Mittelwertskurven der Dunkeladaptation zeigten aber, wie auf Abb. 3 ersichtlich, keinerlei Unterschiede. Die Vermutung von *Wölfflin*[27], daß schwarzhaarige eine ausgiebigere Dunkeladaptation besitzen, kann hierdurch nicht bestätigt werden (s. Tab. 2).

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß die Haarfarbe und die Pigmentation des Fundus nicht immer ganz parallel gehen. Ich habe einzelne Personen mit dunkler Haarfarbe und schwach pigmentiertem Fundus, wie umgekehrt Leute mit blondem Haar und relativ starker Pigmentation des Augenhintergrundes gefunden.

Um die Abhängigkeit des Adaptationsverlaufes vom *Lebensalter* zu ermitteln, habe ich meine Ergebnisse in 3 Gruppen eingeteilt, von denen die erste alle Werte bei Personen (11) unter 17 Jahren, die zweite (30) von 18 bis 39 Jahren und die dritte (13) von 45 bis 59 Jahren umfaßten. In Tab. 2 sind die entsprechenden Werte eingetragen und in Abb. 4 die dazugehörigen Kurven wiedergegeben. Es besteht zwischen diesen 3 Kurven kein bemerkenswerter charakteristischer Unterschied. Die diesem Befund widersprechenden Ergebnisse von *Tschermak*[25], *Piper*[20] und *Lasareff*[22] sind voraussichtlich auf Differenzen der Pupillenweite, die diese Autoren nicht berücksichtigt haben, zurückzuführen.

Lasareff hat aus den von ihm gefundenen Unterschieden im Adaptationsverlauf bei verschiedenen Lebensaltern die physiologisch mögliche Lebensdauer des Menschen zu etwa 150 Jahren berechnet. Man sieht,

Tabelle 2. *Mittelwerte der Schwellenreizintensitäten für Personen mit verschieden stark pigmentiertem Fundus und für Personen in verschiedenen Altersgruppen im Vergleich untereinander und im Vergleich mit der „Standardkurve“.*

1	2	3	4	5	6	7
Zeit in Minuten	Mittelwerte der Schwellenreiz-intensitäten bei Personen mit geringer Pigmentation des Fundus in Millilux	Mittelwerte der Schwellenreiz-intensitäten bei Personen mit relativ starker Pigmentation des Fundus in Millilux	Mittelwerte der Schwellenreiz-intensitäten bei Personen von 11 bis 17 Jahren in Millilux	Mittelwerte der Schwellenreiz-intensitäten bei Personen von 18 bis 39 Jahren in Millilux	Mittelwerte der Schwellenreiz-intensitäten bei Personen von 45 bis 59 Jahren in Millilux	Mittelwerte der „Standard-kurve“ in Millilux
1	16,3	13,8	22,0	13,9	22,3	15,3
4	2,8	2,5	3,7	2,44	2,0	3,18
7	0,88	0,85	0,39	1,0	1,1	1,07
10	0,246	0,39	0,13	0,27	0,63	0,268
13	0,039	0,068	0,023	0,034	0,095	0,057
16	0,015	0,016	0,0090	0,016	0,018	0,015
19	0,0092	0,0070	0,0056	0,0082	0,0083	0,0075
22	0,0054	0,0050	0,0038	0,0055	0,0042	0,0050
25	0,0056	0,0040	0,0034	0,0045	0,0032	0,0045
28	0,0034	0,0033	0,0032	0,0035	0,0026	0,0033
31	0,0030	0,0027	0,0028	0,0028	0,0022	0,0028
34	0,0023	0,0024	0,0022	0,0025	0,0020	0,0022
37	0,0024	0,0025	0,0019	0,0024	0,0015	0,0023
40	0,0023	0,0023	0,0017	0,0025	0,0012	0,0022
43	0,0025	0,0021	0,0015	0,0024	0,0011	0,0022
46	0,0023	0,0021	0,0017	0,0024	0,0010	0,0021

durch meine Befunde, wie vorsichtig man in solchen Schlußfolgerungen sein muß, vor allem, wenn nicht eine genaue Methode verwendet wird.

Zur Untersuchung auf *allgemeine Typenunterschiede* habe ich meine Ergebnisse in folgender Weise eingeteilt. Jeweils wurden die bei den 54 Personen gefundenen Schwellenintensitäten der Größe nach in 2 Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe enthielt alle über den Mittelwert liegenden und die zweite Gruppe alle darunter befindlichen.

Bei dieser Einteilung der Ergebnisse zeigte es sich, daß es Personen gibt, die während der ganzen Adaptationsprüfung erstens nur niedrige und zweitens nur hohe Reizschwellen

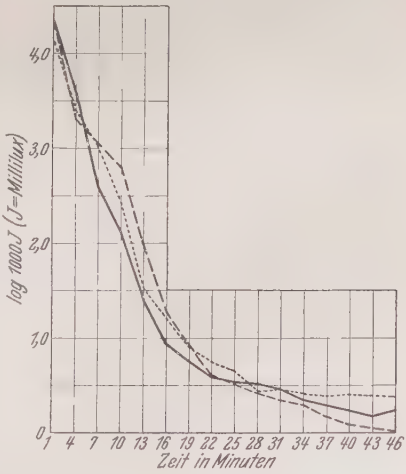

Abb. 4. Die punktierte Kurve entspricht den Mittelwerten der Schwellenreizintensitäten bei Personen von 11 bis 17 Jahren, die gestrichelte Kurve bei Personen von 18 bis 39 Jahren, die ausgezogene Kurve bei Personen von 45 bis 59 Jahren.

besitzen. Ferner konnte eine weitere Gruppe ausfindig gemacht werden, die am Anfang niedrige und im späteren Verlauf der Dunkelanpassung verhältnismäßig hohe Lichtreize zur Auslösung der Schwellenerregung bedurfte. Eine vierte Gruppe endlich hatte am Anfang der Adaptation hohe und später niedrige Reizschwellen.

Bei der geringen Zahl von 54 Personen kann aus diesem Befund natürlich nicht gleich auf 4 verschiedene Grundtypen dieser Art mit Bestimmtheit geschlossen werden. Es erscheint aber immerhin dieser Befund recht interessant, da diese Einteilung des Zahlenmaterials sich verhältnismäßig zwanglos durchführen ließ.

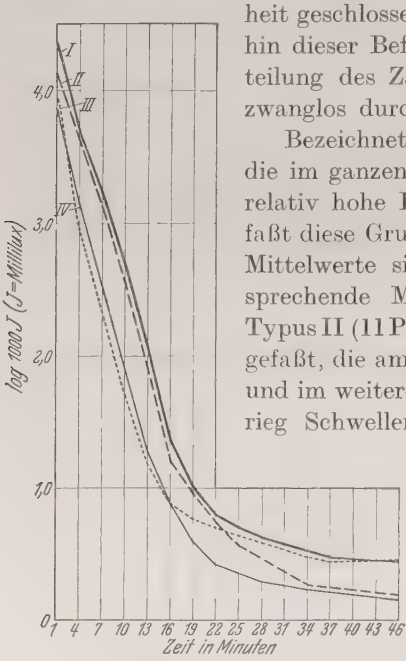

Abb. 5. *Vier* Typen der normalen Dunkeladaptation. Kurve I: Am Anfang und am Ende der Adaptation relativ hohe Schwellenreize. — Kurve II: Am Anfang der Adaptation relativ hohe und am Ende relativ niedrige Schwellenreize. Kurve III: Am Anfang der Adaptation relativ niedrige und am Ende relativ hohe Schwellenreize. — Kurve IV: Am Anfang und am Ende der Adaptation relativ niedrige Schwellenreize.

Bezeichnet man mit Typus I alle die Personen, die im ganzen Bereich der Dunkeladaptation stets relativ hohe Reizschwellen gehabt haben, so umfaßt diese Gruppe 18 Personen. Die dazugehörigen Mittelwerte sind in Tab. 3 eingetragen. Die entsprechende Mittelwertskurve zeigt Abb. 5. Als Typus II (11 Personen) sind alle Befunde zusammengefaßt, die am Anfang der Adaptation relativ hohe und im weiteren Verlauf normale bzw. relativ niedrieg Schwellenreize zeigten. Typus III hat umgekehrt am Anfang verhältnismäßig niedrige und später relativ hohe Schwellenreize (8 Personen). Endlich sind als Typus IV (17 Personen) alle diejenigen Personen bezeichnet, die während des gesamten Adaptationsverlaufes niedrige Schwellen besessen haben.

Eine genaue Kontrolle der Befunde ergab, daß zwischen diesen 4 Typen und dem Lebensalter, der Pupillenweite, der Funduspigmentierung und der Blutgruppenzugehörigkeit keine Beziehungen offenbar werden.

Eine Erklärung für diese 4 Typen bietet in einfacher Weise die Duplizitätstheorie. Diese 4 Typen stellen die 4 Kombinationsmöglichkeiten von Tages- und Dämmerungsapparat dar, wobei diese Apparate entweder normale oder über der Norm gelegene Schwellen besitzen.

Wie schon gesagt, kann bei der geringen Zahl der Versuchspersonen nichts Bindendes ausgesagt werden, doch schienen die Befunde der Mitteilung wert, da sie eine neue Auffassung über Typen der Adaptation ergeben.

Tabelle 3. *Mittelwerte der Schwellenreizintensitäten für 4 Typen der Dunkeladaptation.*

1	2	3	4	5
Zeit in Minuten	Typus I	Typus II	Typus III	Typus IV
	Mittelwerte der Schwellenreizintensitäten in Millilux	Mittelwerte der Schwellenreizintensitäten in Millilux	Mittelwerte der Schwellenreizintensitäten in Millilux	Mittelwerte der Schwellenreizintensitäten in Millilux
1	21,2	12,9	8,4	7,6
4	4,67	4,1	0,94	1,4
7	1,72	1,38	0,23	0,35
10	0,53	0,40	0,052	—
13	0,12	0,057	0,016	0,019
16	0,024	0,016	0,0079	0,0079
19	0,010	0,0094	0,0060	0,0040
22	0,0064	0,0054	—	0,0026
25	0,0050	0,0038	0,0044	—
28	0,0043	—	—	0,0020
34	—	0,0018	0,0030	0,0017
37	0,0030	0,0016	0,0028	—
46	0,0027	0,0016	0,0028	0,0014

Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang noch, daß eine Einteilung der Ergebnisse im Sinne der *Piper*schen Typen sich nicht ohne allzu große Vergewaltigung des Zahlenmateriales durchführen ließ. Es kann somit seine Ansicht in dieser Beziehung nicht bestätigt werden.

Die Adaptation bei der kindlichen Myopie. In einem weiteren Teil meiner Arbeit habe ich die von *Brückner* und *Franceschetti*[4] gewonnenen Adaptationskurven von myopischen Kindern einer genaueren Analyse mit Hilfe meiner „Standardkurve“ unterzogen. Die Resultate sollen im folgenden mitgeteilt werden, um einerseits zu zeigen, wie die Technik der Beurteilung von Adaptationskurven praktisch gehandhabt wird, und andererseits sollen sie einen Beitrag zur Kenntnis von den Beziehungen zwischen Refraktion und Adaptation liefern. Gerade die Abhängigkeit der Dunkeladaptation von der myopischen Refraktion wird von einzelnen Autoren in verschiedenem Sinne gedeutet.

Wölfflin[27], der bei Myopien bis zu — 9,0 Dioptrien den Dunkeladaptationsverlauf untersuchte, konnte dabei keine Abweichung von der Norm finden. Nur, wenn der Fundus durch Ernährungsstörungen geschädigt ist, vermochte *Lohmann*[14] bei myopischen Patienten eine Veränderung der Dunkeladaptation festzustellen, die im wesentlichen in einer Verzögerung der Dunkelanpassung und in einer Erhöhung des Schwellenreizes am Schluß des Dunkelaufenthaltes bestand. *Comberg*[5] hat bei hochgradigen Myopien die Endschwellenwerte über die Norm erhöht gefunden. *Braunschweig*[3] und *Best*[2] haben bei ihren im Kriege vorgenommenen Untersuchungen darauf hingewiesen, daß besonders Kurzsichtige durch schlechten Allgemeinzustand und Erschöpfung der Kräfte leicht von Hemeralopie befallen werden. Auch *Wessely*[26] hat sich mit dieser Frage beschäftigt. Bei hochgradigen Myopien findet er eine Herabsetzung der Empfindlichkeit auf $^1/_3$ bis $^1/_6$ gegenüber der Norm. Er kann aber keinen direkten Zusammenhang zwischen Höhe der Myopie und dem Grade der Empfindlichkeitsherabsetzung feststellen.

Die Art der Veränderung der Dunkeladaptation ist dabei niemals im Anfangsteil, sondern allein in den mittleren Strecken oder in diesen und den Endstrecken der Adaptationskurve zu erkennen.

Die meinen Untersuchungen zugrunde liegenden Adaptationskurven wurden an myopischen Kindern gewonnen, bei denen eine charakteristische Form der Mypopie bestand, die von *Brückner* und *Franceschetti*[4] beschrieben worden ist. Es handelt sich dabei um eine Art der Kurzsichtigkeit im Kindesalter, die mit eigenartigen Veränderungen des Fundus einhergeht, meist progressiven Charakter hat, und eine besonders dunkelpigmentierte Macula aufweist. Die Adaptation war unter genau den gleichen Versuchsbedingungen, wie ich sie eingangs geschildert habe, geprüft worden.

Die von mir aus dem genannten Material verwendeten Adaptationskurven stammten von 22 Kindern mit Myopien von —2,0 bis —25,0 dptr. In der Mehrzahl der Fälle bestand auch noch ein Astigmatismus von etwa 1,5 bis 4 dptr.

Zunächst habe ich aus allen zeitlich zueinander gehörigen Schwellenreizbestimmungen den Mittelwert und die zugehörigen mittleren Fehler der Einzelbeobachtung berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 4 eingetragen. Abb. 6 zeigt den Verlauf dieser Mittelwertskurve im Vergleich zur „Standardkurve". Die „myopische" Adaptationskurve liegt fast

Tabelle 4. *Mittelwerte und Fehlermaße der Schwellenreizintensitäten von 22 myopischen Kindern, die die von Brückner und Franceschetti beschriebenen typischen Fundusveränderungen (dunkle Macula) hatten.*

1	2	3	4	5	6	7	8
Zeit in Minuten	Mittelwerte der Schwellenreizintensitäten in Millilux $= M_2$	Mittlere Fehler der Einzelbeobachtung $= \sigma$	Mittlere Fehler des Mittelwertes $= m_2$	Mittelwerte der „Standardkurve" $= M_1$	Mittelwerte von Stab 2 weniger Mittelwerte von Stab 5 $= M_2 - M_1$	$k = \frac{M_2 - M_1}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$	Differenz von M_2 und M_1 in % von M_1
1	42,4	31,2	6,8	15,3	27,05	3,8	64
4	10,9	10,8	2,2	3,18	7,76	3,3	71
7	4,6	6,0	1,3	1,07	3,55	2,5	77
10	1,1	1,95	0,42	0,268	0,84	2,0	76
13	0,30	0,56	0,12	0,057	0,247	2,0	81
16	0,090	0,19	0,041	0,015	0,075	1,7	83
19	0,023	0,021	0,004	0,0075	0,015	3,5	53
22	0,018	0,021	0,0045	0,0050	0,0030	2,8	72
25	0,0078	0,0067	0,0014	0,0045	0,0033	2,1	42
28	0,0056	0,0053	0,0011	0,0033	0,0023	2,0	42
31	0,0044	0,0034	0,00075	0,0028	0,0016	2,0	37
34	0,0035	0,0028	0,00051	0,0022	0,0013	2,0	37
37	0,0036	0,0040	0,00087	0,0023	0,0013	1,5	36
40	0,0025	0,0020	0,00045	0,0022	0,00032	0,7	13
43	0,0019	0,0023	0,00049	0,0022	0,00031	0,4	11
46	0,0029	0,0038	0,00083	0,0021	0,00079	0,9	28

im ganzen Bereich über der Kurve der Normalen. Daraus kann man den Schluß ziehen, daß fast im Verlauf der gesamten Adaptation die Myopen höhere Schwellenreize benötigen als die Normalen, wobei allerdings die Differenzen am Ende der Dunkelanpassung sehr klein sind.

Die Beurteilung dieser Unterschiede der Kurven entbehrt der Sicherheit, da die Mittelwerte beider Versuchsreihen mit einem nicht unerheblichen und zudem noch verschieden großen Fehler (Tab. 1 und 4) behaftet sind. Es läßt sich somit zunächst nicht sagen, ob die gefundenen Differenzen einem tatsächlich vorhandenen Unterschied der Mittelwerte entspringen oder ob sie nur durch ein Spiel des Zufalles zustande gekommen sind. In der variationsstatistischen Formel $k = \frac{M_2 - M_1}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$ besitzen wir ein Hilfsmittel, das in dieser Frage klärend wirken kann. (M_1 und M_2 sind die beiden Mittelwerte der Versuchsreihen und m_1 und m_2 die dazugehörigen mittleren Fehler der Mittelwerte.) Je größer k gefunden wird, desto sicherer können wir sein, daß der Unterschied der Mittelwerte (M_1 und M_2) nicht durch Zufall bedingt ist. Es gilt die Regel, daß bei $k = 5$ der Unterschied der Mittelwerte mit größter Sicherheit als tatsächlich vorhanden angesprochen werden darf. Doch kann man schon im allgemeinen bei $k = 3$ annehmen, daß die Mittelwerte wirklich verschieden sind. Hat k den Wert 2, so ist nicht mehr zu entscheiden, inwieweit die Differenz der Mittelwerte durch Zufall oder durch evtl. tatsächlich verschiedene Ergebnisse beeinflußt ist, doch liegt immer noch eine gewisse Wahrscheinlichkeit vor, daß der Zufall nicht allein die Differenz bedingt. Bei kleineren Größen von k als 2 sind wir nicht in der Lage, eine mathematisch begründete Analyse der Unterschiede durchzuführen. Da wir aber die Größe von „m“, dem mittleren Fehler des Mittelwertes durch Vermehrung der Versuchszahl beliebig verkleinern können, stehen uns auch in diesem Falle noch weitere Wege offen, um Klarheit zu schaffen.

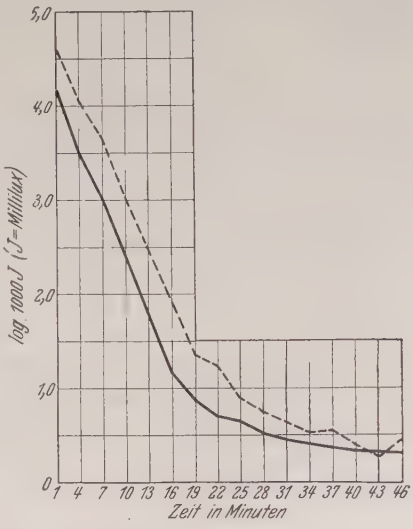

Abb. 6. Die ausgezogene Kurve stellt die „Standardkurve“ der Dunkeladaptation dar. — Die gestrichelte Kurve entspricht den Mittelwerten der Schwellenreizintensitäten bei 22 myopischen Kindern von dem Typus *Brückner-Franceschetti*.

Betrachten wir das Verhalten des Faktors k in unserem speziellen Falle — seine Werte sind im vorletzten Stab der Tab. 4 eingetragen —,

so ist zu ersehen, daß er am Anfang der Dunkeladaptation am größten ist und in ihrem weiteren Verlauf immer kleiner wird. Aus der Größe seiner Werte dürfen wir entnehmen, daß die untersuchten myopischen Kinder durchschnittlich im Anfang der Dunkelanpassung — etwa bis zur 7. Minute — sicher höhere Lichtintensitäten zur Auslösung des Schwellenreizes benötigen als die Normalen. Aber aller Wahrscheinlichkeit nach sind die Schwellenreizwerte sogar bis zur 34. Minute für die Myopen höher als für die Normalen. Von der 37. bis 46. Minute können wir in dieser Beziehung keinen Entscheid mehr fällen, da die Werte von k in diesem Zeitabschnitt zu niedrig sind.

Wie wichtig eine derartige Betrachtungsweise ist, erhellt die Tatsache, daß die absolute und prozentuale Differenz der Mittelwertkurve, die man bis jetzt bei derartigen Untersuchungen allein beachtet hat, durchaus nicht als Maßstab für die Sicherheit des Nachweises von Unterschieden in Mittelwertskurven gelten kann. Drücken wir nämlich jeweils die Differenz der Mittelwerte der normalen und der myopischen Kurve in Prozenten des zugehörigen „normalen" Mittelwertes aus (Tab. 4, letzter Stab), so ist, wie der Vergleich der beiden letzten Stäbe von Tab. 4 zeigt, durchaus kein einheitliches Verhalten der Werte von k und dieser prozentualen Differenzgröße zu erkennen. Die Ursache liegt darin, daß der mittlere Fehler des Mittelwertes im Verlaufe der Dunkelanpassung erheblichen Schwankungen unterliegt.

Würden wir nämlich die prozentuale Größe der Abweichung beider Kurven, wie sie z. B. auch durch den Abstand zweier Punkte in senk-

Tabelle 5. *Vergleich des Adaptationsverlaufes bei einem Jugendlichen mit Myopie vom Typus Brückner-Franceschetti mit der Standardkurve.*

1	2	3	4
Zeit in Minuten	Mittelwerte der „Standardkurve" in Millilux	Obere Streuungsgrenze der „Standardkurve" in Millilux	Schwellenreizintensitäten in Millilux bei einem Fall von jugendlicher Myopie
1	15,3	58,5	140,0
4	3,18	16,0	22,0
7	1,07	4,51	7,0
10	0,268	1,33	0,88
13	0,057	0,32	0,088
16	0,015	0,053	0,021
19	0,0075	0,025	0,0088
22	0,0050	0,015	0,0087
25	0,0045	0,016	0,0055
28	0,0033	0,0082	0,0040
31	0,0028	0,0084	0,0033
34	0,0022	0,0068	0,0040
37	0,0023	0,0061	0,0028
40	0,0022	0,0062	—
43	0,0022	0,0061	0,0023
46	0,0021	0,0061	0,0025

rechter Richtung bei der logarithmischen Aufzeichnung der Kurve in Abb. 6 zum Ausdruck kommt, allein als Maß benützen, so müßten wir in diesem Falle z. B. sagen, daß die beiden Kurven in der 16. Minute am meisten voneinander abweichen, da hier die Differenz den maximalen Wert von 83% erreicht, und daß folglich hier am sichersten der Unterschied zwischen dem Adaptationsverlauf des Myopen und des Normalen nachweisbar ist. In Wirklichkeit müssen wir uns aber in dieser Beziehung allein an die Größe von k halten und bemerken, daß die größte Sicherheit im Erkennen der Unterschiede beider Kurven in der ersten Minute besteht.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß im Durchschnitt die Schwellenreize der myopischen Kinder fast im ganzen Verlauf der Dunkeladaptation höher sind als die bei Personen mit normalem Lichtsinn. Besonders deutlich ist diese Differenz am Anfang der Dunkelanpassung nachweisbar. Von der 37. Minute ab ist es jedoch möglich, daß die gefundenen Unterschiede ein Zufallsprodukt sind. In diesem Zeitabschnitt genügt die Zahl der Versuche nicht mehr, um die Differenzen als tatsächlich bestehend zu beweisen.

Während der Normale im Durchschnitt bei den gegebenen Versuchsbedingungen am Anfang der Dunkelanpassung einen Schwellenreiz von 15,3 Millilux aufweist, hat für das myopische Kind dieser Schwellenreiz eine Größe von 42,4 Millilux. Nach 46 Minuten Dunkelaufenthalt betragen die Schwellenreize 0,0021 Millilux für den Normalen und 0,0029 Millilux für den Myopen.

Wesentlich einfacher gestaltet sich der Vergleich einer einzelnen Adaptationskurve mit der „Standardkurve“ als der Vergleich mit einer Versuchsserie, wie es im vorliegenden Fall geschildert wurde. Als Beispiel gebe ich Abb. 7. Die Kurve *I* entspricht der Mittelwertkurve der Normalen („Standardkurve“). Die Kurve *II* stellt die obere Streuungsgrenze der physiologisch möglichen Werte dar. Die Kurve *III* ist durch die Logarithmen der Schwellenreize, die bei einem myopischen Kinde gefunden worden sind, gebildet. Überall da, wo die „myopische“ Kurve oberhalb der Streuungsgrenze liegt, weicht der Adaptationsverlauf mit Sicherheit von der Norm ab. Im übrigen Bereich, in dem die „myopische“ Kurve nur wenig über der „Normalen“ liegt, können wir keine sicheren Angaben machen, sondern müssen uns mit der Feststellung ihrer Lage begnügen, ohne weitere Schlüsse daraus ziehen zu dürfen.

Diese Ergebnisse verdienen Beachtung, denn die von *Brückner* und *Franceschetti*[4] untersuchten myopischen Kinder zeigten ein spezifisches Krankheitsbild, das besonders in der eigenartigen Pigmentation der Macula zum Ausdruck kam, *also vorwiegend eine Veränderung im Gebiete der Träger des Tagesapparates erkennen ließ.*

Diese klinischen Beobachtungen finden nun ihre Bestätigung bei der exakten Analyse der Dunkeladaptationskurven.

Hierbei steht im Vordergrunde die ohne jeden Zweifel nachweisbare schlechte Adaptation im Anfang des Dunkelaufenthaltes, *also ebenfalls eine auffällige Schädigung des Tagesapparates.*

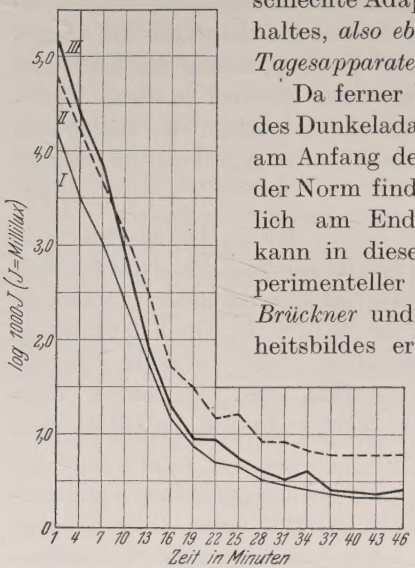

Abb. 7. Kurve *I* = „Standardkurve"; Kurve *II* = obere Streuungsgrenze; Kurve *III* = Adaptationskurve eines myopischen Kindes von dem Typus *Brückner-Franceschetti.*

Da ferner *Wessely*[26] bei seinen Untersuchungen des Dunkeladaptationsverlaufes bei Myopen gerade am Anfang der Adaptation *keine* Abweichung von der Norm finden konnte, sondern diese hauptsächlich am Ende der Dunkelanpassung feststellte, kann in diesem Unterschied der Befunde ein experimenteller Beweis der Besonderheit des von *Brückner* und *Franceschetti*[4] geschilderten Krankheitsbildes erblickt werden.

Zusammenfassung.

Für klinische Untersuchungen der Dunkelanpassung wird empfohlen, folgende Methoden zu verwenden:

Nach maximaler Erweiterung der Pupillen wird der Patient eine halbe Stunde in einen von Licht völlig abgeschlossenen Raum gebracht und dann mit Hilfe einer weißen Halbkugel von der Helligkeit von 3000 Lux ⊥ Barytweiß die Vorbelichtung der Augen 10 Minuten lang durchgeführt. Daran anschließend erfolgt die Schwellenreizbestimmung mit einer kreisförmigen Fläche von 10 cm Durchmesser in 60 cm Entfernung von den Patientenaugen und einem Fixierpunkt in 10 cm Abstand vom Mittelpunkt der Lichtfläche.

Mit dieser Methode wurde bei 54 normalen Personen der Adaptationsverlauf bestimmt und aus diesen Resultaten die Mittelwertskurve („Standardkurve") mit der oberen Streuungsgrenze berechnet. Mit diesen beiden Kurven ist es möglich, für klinische Untersuchungen über die Dunkelanpassung genaue Vergleiche bei normalen und kranken Personen durchzuführen.

Die Untersuchung ergab, daß vielleicht 4 Typen der Dunkelanpassung vorkommen, die möglicherweise auf verschiedene Wertigkeiten des Tages- und Dämmerungsapparates zurückgeführt werden können. Eine Einteilung in nur 2 Typen, wie sie *Piper* vorgenommen hat, ließ sich nicht durchführen, ohne das Zahlenmaterial allzu willkürlich zu verwenden.

Es konnte keine Abhängigkeit des Dunkeladaptationsverlaufes vom

Lebensalter, von der Stärke der Pigmentation des Fundus, vom Geschlecht und von der Blutgruppenzugehörigkeit ermittelt werden.

Die mittleren Fehler der einzelnen Beobachtung in Prozenten des zugehörigen Mittelwertes ausgedrückt, zeigten im Verlaufe der Dunkelanpassung zwei Maxima, von denen das eine vielleicht auf das „kritische Stadium" und das andere auf die größte Steilheit der Adaptationskurve zurückgeführt werden kann.

An einem Beispiel der Dunkelanpassung myopischer Kinder wird die Technik der Beurteilung von Adaptationskurven geschildert. Beim Vergleich dieser Kurven mit der Standardkurve zeigt sich, daß die myopischen Kinder besonders am Anfang des Dunkelaufenthaltes eine herabgesetzte Adaptation besitzen. Darin wird auch im Hinblick auf die Ergebnisse von *Wessely*[26] ein Beweis der Besonderheit des von *Brückner* und *Franceschetti*[4] geschilderten Krankheitsbildes bei myopischen Kindern erblickt.

Zum Schluß möchte ich Herrn Dr. *H. K. Müller*, der mir jederzeit zuvorkommend seinen Beistand leistete, sowie allen Damen und Herren, die sich mir freundlichst zur Untersuchung anboten, meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Literaturverzeichnis.

[1] *Behr, C.*, Das Verhalten und die diagnostische Bedeutung der Dunkeladaptation bei verschiedenen Erkrankungen des Sehnervenstammes. Klin. Mbl. Augenheilk. **55**, 193 (1915). — [2] *Best, F.*, Über Nachtblindheit im Felde. Münch. med. Wschr. **33**, 1121 (1915). — [3] *Braunschweig*, Über Nachtblindheit im Felde. Münch. med. Wschr. **1915**, 308. — [4] *Brückner, A.*, u. *A. Franceschetti*, Myopie im Kindesalter. Arch. Augenheilk. **105**, 1 (1931). — [5] *Comberg, M.*, Beiträge zur Hemeralopiefrage. Münch. med. Wschr. **1917**, 833. — [6] *Dieter, W.*, Allgemeine Störungen der Adaptation des Sehorgans. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie von Bethe, Embden, Ellinger Bd. 12/2, S. 1595. 1931. — [7] *Fröhlich, Fr. W.*, Die Empfindungszeit. Jena: Gustav Fischer 1929. — [8] *Gasteiger, H.*, Über Störung der Dunkeladaptation bei Sehnervenerkrankung und ihre diagnostische Verwendbarkeit. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 827 (1927). — [9] *Hecht, S.*, The dark adaptation of the human eye. J. gen. Physiol. **2**, 499 (1920). — [10] *Hertel, E.*, Untersuchungen des Lichtsinnes mit einem Kugeladaptometer, ein Weg zur Standardisierung. Concilium ophthalmologicum **13** Hollandia 1929. N.V. Leyden: Boek. — [11] *Igersheimer*, Zur Pathologie der Sehbahn. Graefes Arch. **98**, 67 (1919). — [12] *Kohlrausch, A.*, Untersuchung mit farbigen Schwellenlichtern über den Dunkeladaptationsverlauf des normalen Auges. Pflügers Arch. **196**, 113 (1922). — [13] *Kovacs, A.*, Über den Einfluß der Dunkeladaptation auf die Empfindungszeit und den zeitlichen Verlauf der Gesichtsempfindung. Z. Sinnesphysiol. **54**, 161 (1922). — [14] *Lohmann, W.*, Untersuchungen über die Adaptation und ihre Bedeutung für Erkrankungen des Augenhintergrundes. Graefes Arch. **65**, 365 (1907). — [15] *Mesmer*, Über die Dunkeladaptation bei Hemeralopie. Z. Sinnesphysiol. **42**, 83 (1908). — [16] *Müller, H. K.*, Über den Einfluß verschieden langer Vorbelichtung auf die Dunkeladaptation und auf die Fehlergröße der Schwellenreizbestimmung während der Dunkelanpassung. Graefes Arch. **125**, 624 (1931). — [17] *Müller, H. K.*, Zur Darstellung des Dunkeladaptationsverlaufes für klinische Untersuchungen. Graefes Arch. **125**, 614 (1931). — [18] *Nagel, W. A.*, Die Lehre von

den Gesichtsempfindungen. Helmholtz, Physiol. Optik **2**, 264 (1911). III. Aufl. — [19] *Nagel, W. A.*, Zwei Apparate für die augenärztliche Funktionsprüfung. Z. Augenheilk. **17**, 201 (1907). — [20] *Piper, H.*, Über Dunkeladaptation. Z. Sinnesphysiol. **11**, 1 (1903). — [21] *Pütter*, Die Auswertung zahlenmäßiger Beobachtungen in der Biologie. Berlin u. Leipzig, De Gruyter 1929. — [22] *Lasareff*, Theorie der Lichtreizung der Netzhaut beim Dunkelsehen. Pflügers Arch. **154**, 459 (1913); **155**, 310 (1914). — [23] *Schindler, Emma*, Über die klinische Bedeutung der Dunkeladaptation. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 710 (1922). — [24] *Stargardt, R.*, Ein Apparat für gleichmäßige Helladaptation. Klin. Mbl. Augenheilk. **81**, Erg.-H. 53 (1916). — [25] *Tschermak, A.*, Über physiologische und pathologische Anpassung des Auges. Veit & Co. 1900. — [26] *Wessely, K.*, Über Störung der Dunkeladaptation. Arch. Augenheilk. **1916**, Erg.-H., S. 49. — [27] *Wölfflin*, Einfluß des Lebensalters auf den Lichtsinn bei dunkel adaptiertem Auge. Graefes Arch. **61**, 524 (1905).